Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 1, Spring 2020, p. 15-27

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۲۷-۱۵

مقاله علمی-پژوهشی

تحلیل کارایی محیط‌زیستی مزارع برنج در استان گیلان با تأکید بر شرط تعادل مواد

سیده صدیقه احمدزاده[1]- حمید امیرنژاد[2]*- سید علی حسینی یکانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۰۵

چکیده

هدف این مطالعه تعیین کارایی محیط‌زیستی شالیکاران استان گیلان با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار و با در نظر گرفتن شرط تعادل مواد می‌باشد. داده‌های مورد نیاز به‌صورت میدانی و تکمیل پرسشنامه از ۴۲۷ شالیکار جمع‌آوری گردید. نمونه‌گیری بر اساس روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تصادفی و تعیین حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران صورت گرفت. نتایج نشان داد که میانگین معیار کارایی با درنظرگرفتن مازاد مواد مغذی و بدون آن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم دارند به‌طوری که لحاظ‌نکردن مازاد مواد مغذی در مدل کارایی موجب شده که میزان کارایی به اندازه ۱۷ درصد بیشتر از مقدار واقعی نشان داده شود. همچنین، بر اساس نتایج ۸۲/۴ درصد از شالیکاران مورد مطالعه از لحاظ فنی و ۸۵ درصد از نظر محیط‌زیستی ناکارا بوده و واحدهایی که کارایی فنی بالایی داشتند از نظر محیط‌زیستی نیز کاراتر عمل کردند. بنابراین، نظارت و کنترل میزان کودهای مصرفی در مزارع، فرهنگ‌سازی خرید و مصرف محصولات سالم و تشکیل کلاس‌های توجیهی و آشنانمودن کشاورزان با خطرات مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی جهت بهبود کارایی محیط‌زیستی شالیکاران استان گیلان ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تابع فاصله جهت‌دار، کارایی محیط‌زیستی، مازاد فسفر، مازاد نیتروژن

مقدمه

آلودگی‌های محیط‌زیستی در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های جهانی تبدیل شده است. مسئله آلودگی محیط‌زیستی در ایران نیز یکی از چالش‌های اساسی پیش‌روی سیاست‌گذاران، دولت مردان و مردم می‌باشد (۲۷).

پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهانی تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۱ میلیارد نفر برسد (۳۴ درصد بیشتر از امروز) که منجر به افزایش تقاضا برای مواد غذایی می‌شود (۹). تقاضای جهانی غذا از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۰ به میزان ۱۱۰- ۱۰۰ درصد افزایش خواهد یافت (۲۸). با وجود دو محدودیت عمده‌ی کمبود منابع آبی و محدودیت زمین کشاورزی برای تولید محصولات کشاورزی، در سال‌های اخیر کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها توانستند در افزایش کارایی و بهره‌وری کشاورزی نقش مهمی ایفا کنند. اما استفاده شدید از این کودها نه تنها تولید کشاورزی را افزایش نداده بلکه هزینه‌های تولید را افزایش و مشکلات محیط‌زیستی شدید به‌ویژه آلودگی، از دست‌دادن تنوع زیستی و تغییرات در اکوسیستم را ایجاد کرده است (۳۱). بنابراین، چالش آینده‌ی سیستم‌های کشاورزی، تولید غذای کافی جهت تأمین تقاضای جمعیت آینده و کاهش اثرات منفی محیط‌زیست به‌طور همزمان است. از این رو روش‌های تولید باید به‌گونه‌ای باشد که محصولاتی با اثرات منفی کمتر بر محیط‌زیست تولید شوند (۲۸).

بر اساس گزارشات انجمن آنکولوژی ایران[4] مصرف بیش از حد کود شیمیایی باعث سمی و سرطان‌زا شدن محصولات کشاورزی می‌شود (۱۴). با توجه به آمار بالای انواع سرطان به‌ویژه سرطان معده در ایران که شایع‌ترین نوع سرطان در استان گیلان نیز محسوب می‌شود ادامه‌ی روند تولید محصولات کشاورزی مسموم و سرطان‌زا باعث افزایش این آمار در ایران خواهد شد (۱۴). همه‌ی این عوامل باعث شده است تا مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی یک خطر عمده برای محیط‌زیست باشد. از طرفی، بر اساس تحقیق IFA[5] که از سال ۱۹۷۰ به بعد در مورد کشورهای در حال توسعه انجام شد، حذف کودهای شیمیایی از فرایند تولید محصولات کشاورزی سبب اُفت ۴۰ تا ۵۰ درصدی عملکرد آن‌ها

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دوره دکتری و دانشیاران دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: hamidamirnejad@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jead2.vi0.82723

4- Iranian Society of Clinical Oncology
5- International Fertilizer Association

خواهد شد. بنابراین، در مقطع کنونی مدیریت علمی تولید و مصرف انواع کودها امری اجتناب‌ناپذیر است تا بتوان از طریق اصلاح ساختار مصرف بهینه کود و تولید محصولات کشاورزی سالم، سطح سلامت جامعه را ارتقاء داد (۱۶).

از جمله راهکارهای عملی در این زمینه که می‌تواند تأثیر به‌سزایی در تولید محصولات با اثرات منفی کمتر بر محیطزیست داشته باشد بررسی وضعیت کارایی محیطزیستی در فعالیت‌های کشاورزی، انتقال نتایج این مطالعات به کشاورزان و استفاده‌ی عملی از آن‌ها می‌باشد. در این راستا، تلاش‌های ارزشمندی توسط محققان داخلی صورت گرفته که هرکدام می‌تواند به‌نوبه خود نقش مؤثری در انجام این رسالت ایفا کند. به‌عنوان مثال، بررسی کارایی فنی محیطزیستی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۵ در استان‌های ایران نشان داد که این کارایی در اکثر استان‌های کشور روند نزولی در طول زمان داشته است (۲۰). بررسی کارایی محیطزیستی بخش کشاورزی نیز طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۳ نشان داد که مقادیر کارایی با درنظرگرفتن آلاینده‌ها کمتر از کارایی بدون در نظر گرفتن آن‌ها است به‌طوری‌که متوسط کارایی از ۰/۹۸ به ۰/۷۲ کاهش یافت (۱۸). بررسی نتایج کارایی شالیکاران شهرستان رشت در استان گیلان نشان داد میانگین کارایی آن‌ها در حالت بازده‌ی ثابت نسبت به مقیاس، بازده‌ی متغیر نسبت به مقیاس و کارای مقیاس به‌ترتیب برابر ۰/۸۵۴، ۰/۹۲۳ و ۰/۹۲۶ بوده است. یعنی به‌طور بالقوه امکان بهبود کارایی و افزایش تولید در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (۲). در مطالعه‌ای دیگر هزینه‌های آلودگی کشت برنج در منطقه کامفیروز ایران مورد مطالعه قرار گرفت. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی هزینه‌ی نهایی کاهش آلاینده‌های اصلی کشاورزی بود. به این ترتیب، سه شاخص پتانسیل گرمایش جهانی (انتشار گازهای گلخانه‌ای)، مازاد نیتروژن و یک شاخص محیطزیستی برای مزارع برنج شبیه‌سازی شد. سپس ناکارآمدی محیطزیستی و ارزش‌های سایه‌ای این شاخص‌ها با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که فقط با مدیریت بهتر نهاده‌ها، بدون هزینه اضافی، هنوز هم امکان بهبود شرایط وجود دارد. همچنین در کشت برنج، هزینه‌های کاهش آلودگی آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها بسیار بیشتر از مازاد نیتروژن و گازهای گلخانه‌ای بوده و ابزارهای مبتنی بر بازار برای مقابله با هزینه‌های آلودگی خصوصی بهتر از مقررات کنترل هستند (۳۰). برآورد کارایی محیطزیستی تولید برنج در شهرستان بابلسر نشان از شکاف کارایی ۳۸ درصدی بین شالیزارها داشت. میانگین کارایی محیطزیستی برآوردشده نیز برابر با ۷۷ درصد محاسبه شد و نشان داد که کارایی محیطزیستی به‌مراتب کمتر از کارایی فنی در مزارع برنج این شهرستان می‌باشد. همچنین، حدود ۷۶ درصد از شالیزارها دارای کارایی محیطزیستی زیر ۹۰ درصد بودند که نشان از استفاده نابهینه نهاده‌های کود و سم توسط شالیکاران داشت (۱۹).

وجود ناکارایی محیطزیستی فقط مختص ایران نبوده و بررسی های انجام شده نشان داد که کارایی محیطزیستی در خارج از کشور هم به‌طور نسبی پایین است. مطالعه‌ی کارایی محیطزیستی (EE)[1] تولیدات کشاورزی کشور چین طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۳ نشان داد در صورت لحاظ‌کردن اثرات محیطزیستی در بخش کشاورزی کارایی در این بخش کاهش می‌یابد. از دلایل اصلی کاهش کارایی، استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و زیان‌های محیطزیستی و اکولوژیکی مرتبط با آن عنوان شد (۱۵). بررسی کارایی تولید گندم زمستانه با درنظرگرفتن ستاده‌های نامطلوب در لهستان نشان داد که مدل DEA مبتنی بر ستاده‌های نامطلوب می‌تواند عملکرد این ستاده‌ها را بهتر منعکس کند. این روش مناسب‌ترین روش برای به حداکثررساندن کارایی تولید گندم زمستانه و در عین حال به حداقل-رساندن ستاده‌های نامطلوب عنوان شد. میانگین کارایی در این مطالعه برابر ۰/۴۳ برآورد گردید. همچنین نتایج نشان داد که پتانسیل بالایی در کاهش کودهای معدنی (حداکثر ۵۹۵ کیلوگرم در هکتار)، بذر (حداکثر ۳۷ کیلوگرم در هکتار) و سوخت (حداکثر ۷۵ لیتر در هکتار) وجود دارد (۲۱). بررسی چگونگی بهبود بازده‌ی کود نیتروژن در تولید برنج در جنوب صحرای آفریقا نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن از طریق یافتن کمبود عناصر غذایی موجود در خاک از قبیل فسفر، گوگرد و روی قابل بهبود است. همچنین، نتایج نشان داد کمبود فسفر و عوامل محیطی نظیر سرمازدگی کارایی مصرف نیتروژن در تولید برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این مطالعه پیشنهاد شد علاوه بر مدیریت مناسب مصرف نیتروژن و فسفر، شرایط آب و هوایی، دوره‌ی کاشت و مدت زمان رشد ارقام مختلف نیز در نظر گرفته شوند (۲۹).

بررسی کارایی محیطزیستی شالیکاران کشور تایلند نشان داد میانگین کارایی فنی آن‌ها در بازه‌ی ۸۴/۱ درصد تا ۹۹ درصد بوده است. با وجود کارایی فنی نسبتاً بالا در میان شالیکاران تایلندی بررسی کارایی محیطزیستی با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار نشان داد که مازاد مصرف نیتروژن (NS)[2] و مازاد فسفر[3] (PS) در مزارع برنج تایلند وجود داشته که به‌ترتیب در دامنه‌ی ۲۰/۱ تا ۵۰/۷ کیلوگرم در هکتار و ۱۱ تا ۲۸/۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (۲۵). مطالعه‌ی کارایی محیطزیستی در ۶۳ کشور جهان نیز حاکی از وجود ناکارایی محیطزیستی در این کشورها است. در این راستا، کشورهایی با درآمد بالا و متوسط رو به بالا بیشترین پیشرفت را در متوسط کارایی محیطزیستی داشته و کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین و درآمد پایین رشد منفی در متوسط کارایی محیطزیستی داشتند (۳۱).

کوئلی و همکاران (۷) معیاری جهت تعیین کارایی محیطزیستی

1- Environmental Efficiency
2- Nitrogen Surplus
3- Phosphorus Surplus

ارائه کردند که در آن شرایط تعادل مواد (MBC)[1] را وارد مدل تحلیل پوششی داده‌ها نهاده‌گرا کرده و با این روش مواد مغذی برای هر مزرعه را به حداقل رساندند. سپس کارایی محیطزیستی هر مزرعه را بر اساس نسبت حداقل مواد مغذی مورد نیاز به مواد مغذی مورد استفاده محاسبه کردند و در این روش سطح محصول ثابت فرض شده است. بنابراین، معیار کارایی محیطزیستی پیشنهادشده آن‌ها می‌تواند با ثابت‌ماندن همان سطح از ستاده، برای به حداقل‌رساندن کل مواد مغذی موجود در نهاده‌ها استفاده شود. بر خلاف معیار کارایی معرفی‌شده توسط کوئلی و همکاران (۷)، این مطالعه تلاش می‌کند تا مازاد مواد مغذی نیتروژن و فسفر را با استفاده از توابع فاصله جهت‌دار به حداقل برساند که علاوه بر کاهش مازاد نیتروژن و فسفر، امکان افزایش ستاده نیز امکانپذیر باشد. همچنین، تفاوت این مطالعه با مطالعه سائلی (۲۵) که در مدل خود مازاد نیتروژن و مازاد فسفر را به طور جداگانه به حداقل رساند در این است که در مطالعه حاضر کاهش مازاد نیتروژن و فسفر به‌طور همزمان در نظر گرفته شده است.

با لحاظ ستاده‌های نامطلوب به‌عنوان نهاده، مجموعه امکانات تولید دیگر بسته نخواهد بود که از منظر اقتصادی منطقی نیست (۳۰). بر خلاف مطالعه انجام‌شده در زمینه‌ی کارایی محیطزیستی محصول برنج که کودهای شیمیایی را به‌عنوان نهاده نامطلوب وارد مدل محیطزیستی کرده است (۱۹)، در مطالعه‌ی حاضر مازاد مواد مغذی (مازاد نیتروژن و فسفر) حاصل از مصرف نابهینه کودهای شیمیایی به‌عنوان محصول نامطلوب وارد مدل محیطزیستی شده است.

مواد و روش‌ها

چارچوب نظری اندازه‌گیری کارایی توسط فارل (۱۲) بیان گردید و سپس چارنز، کوپر، و رودس (۶) با جامعیت‌بخشیدن به روش فارل، روش تحلیل پوششی داده‌ها را برای اندازه‌گیری کارایی نسبی در حالت بازدهی ثابت به مقیاس معرفی نمودند. در ادامه بنکر و همکاران (۴)، مدل CCR[2] را در حالت بازدهی متغیر به مقیاس بسط داده و مدل BCC[3] را ارائه نمودند. بال و همکاران (۳) معتقدند که اندازه گیری کارایی بدون تفکیک ستاده‌ی مطلوب و نامطلوب درست نیست زیرا این نوع اندازه‌گیری اثرات جانبی را در نظر نمی‌گیرد. پیتمن (۲۲) نخستین کسی بود که اثرگذاری‌های محیطزیستی را به‌عنوان ستاده‌ی نامطلوب در نظر گرفت. کارایی محیطزیستی یعنی تولید کالا و ارائه خدمات با به‌کارگیری انرژی و مواد اولیه کمتر که ضایعات، آلودگی و هزینه‌ی کمتر را نیز به‌دنبال داشته باشد (۲۶). برای بررسی کارایی محیطزیستی با فرض وجود دو نوع ستاده‌ی مطلوب و نامطلوب نیاز به تابع فاصله جهت‌دار است (۲۶). چمبرز و همکاران (۵) اولین بار تابع فاصله جهت‌داری را معرفی نمودند که بر مبنای الگوی ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها بود و ساختار ساده و مناسب‌تری برای لحاظ ستاده‌ی نامطلوب و بررسی اثر مقررات محیطزیستی داشت. تابع فاصله جهت‌دار ستاده‌گرا به‌دنبال افزایش محصول مطلوب و به‌طور همزمان کاهش محصولات نامطلوب است (۲۴). مزیت تابع فاصله‌ی جهت‌دار ستاده‌گرا این است که امکان بررسی تغییرات نامتناسب در ستاده‌ها وجود دارد، زیرا افزایش ستاده‌های خوب را امکان‌پذیر ساخته و در عین حال ستاده‌های نامطلوب را کاهش می دهد. تابع فاصله برای بردارهای ستاده‌ی کارآمد روی مرز تولید به لحاظ فنی مقدار صفر می‌گیرد در حالی که مقادیر مثبت به مفهوم بردار ستاده‌های ناکارآمد زیر خط مرزی است که هرچه این مقدار بیشتر باشد، بردار ستاده ناکارآمدتر است (۱۱).

از دلایل اصلی کاهش کارایی، استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و زیان‌های محیطزیستی مرتبط با آن می‌باشد (۱۵). مصرف بیش از حد بهینه‌ی کودهای شیمیایی سبب تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط می‌شود. عمده‌ترین مازاد مواد مغذی که در کشت برنج باعث مشکلات محیطزیستی می‌شوند مازاد نیتروژن و فسفر است (۷ و ۲۵). در این راستا، کوئلی و همکاران (۷) برای اولین بار شرط تعادل مواد مغذی را جهت تعیین کارایی محیطزیستی وارد مدل کارایی کردند.

شرط تعادل مواد (MBC)

در فعالیت‌های تولیدی علاوه بر محصولات مطلوب خروجی‌های نامطلوب هم تولید می‌شود که باعث مشکلات محیطی خواهد شد. برخی از مواد مغذی توسط گیاهان جذب شده و بقیه آن به محیط زیست برمی‌گردد. به بیان کوئلی و همکاران (۷) تعادل مواد مغذی به‌صورت مقدار مواد مغذی است که توسط نهاده‌ها وارد مزرعه شده منهای میزان مواد مغذی که توسط محصول از مزرعه خارج می‌شود. اگر این مازاد با $z \in R_+$ نشان داده شود آن‌گاه فرم ریاضی آن به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد (۷):

$$z = a'X - b'Y \tag{۱}$$

a بردار k×1 مواد مغذی موجود در نهاده، b بردار m×1 مواد مغذی موجود در ستاده، x بردار k×n ماتریس نهاده و Y بردار m×n ماتریس ستاده است. بنابراین، مازاد نیتروژن و فسفر از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه خواهد شد (۲۵):

$$NS^i = (0.0137x_s^i + x_N^i) - 0.0137y^i \tag{۲}$$

$$PS^i = (0.0025x_s^i + x_N^i) - 0.0025y^i \tag{۳}$$

1- Material Balance Condition
2- Charnes, Cooper and Rhodes
3- Banker, Charnes and Cooper

x_S^i مقدار بذر مصرفی مزرعه i، y^i محصول تولیدی مزرعه i، x_P^i و x_N^i به‌ترتیب میزان نیتروژن و فسفر موجود در کودهای مصرفی مزرعه i می‌باشند. متوسط میزان نیتروژن و فسفر موجود در دانه برنج نیز به‌ترتیب برابر با ۱/۳۷ و ۰/۲۵ درصد می‌باشد (۲۳).

تعیین کارایی محیط‌زیستی با استفاده از روش تابع فاصله ستاده جهت‌دار[1]

اگر فناوری تولید در مزرعه‌ای با بردار m= 1,2,...,M ستاده تولیدی و k= 1,2,...,K نهاده‌ی مصرفی، محدب، غیرافزایشی در نهاده‌ها و غیرکاهشی در ستاده‌ها بوده و دسترسی آسان به نهاده‌ها و ستاده‌ها وجود داشته باشد آن‌گاه مجموعه تولید عملی به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$T=\left\{\begin{array}{l}\langle y,b,x\rangle \big| \, x\, can\ produce\,(y,b),\ \ x\in R_+^k,\\ y\in R_+^{M_1}, b\in R_+^{M_2}\end{array}\right\} \quad (۴)$$

$x^i=(x_1^i,x_2^i,....,x_k^i)$ بردار نهاده‌های مصرفی با k نهاده (شامل سطح زیرکشت، بذر، کود شیمیایی، سموم، ماشین‌آلات، نیروی کار و شاخص دیویژیا)[2] است. شاخص دیویژیا بیانگر مجموع سایر هزینه‌های تولید است که این هزینه‌ها به‌عنوان نهاده وارد مدل نشدند این هزینه‌ها از قبیل هزینه آبیاری، پلاستیک خزانه، حمل و نقل و ... می‌باشد که به‌عنوان یک متغیر و بر حسب تومان محاسبه شده است. $y^i=(y_1^i,y_2^i,....,y_{m_1}^i)$ بردار ستاده‌ی مطلوب (شلتوک) و $b^i=(b_1^i,b_2^i,....,b_{m_2}^i)$ بردار ستاده‌ی نامطلوب (مازاد نیتروژن و مازاد فسفر) می‌باشند.

تابع DDF شرایط بهینه کاهش در نهاده‌ها و افزایش در ستاده را به‌طور همزمان فراهم می‌کند که این میزان تغییرات در نهاده‌ها و ستاده‌ها به‌عنوان معیار ناکارایی در محاسبه کارایی فنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع DDF به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود (۱۰):

$$D_T(x,y,g_x,g_y)=\max_{\beta}\{\beta:(x-\beta g_x, y+\beta g_y)\in T\}, \quad (۵)$$
$$x\in R_+^k, y\in R_+^m$$

(g_x,g_y) بردار از پیش تعیین شده و غیرصفر بوده به‌طوری که: $(g_x,g_y)\in R_+^k\times R_+^m$.

DDF امکان افزایش میزان ستاده‌ی تولیدی در جهت g_y و کاهش میزان نهاده مصرفی در جهت g_x را فراهم می‌کند (۱۰ و ۳۲). اگر فاصله‌ی موقعیت جاری یک مزرعه از مرز کارا صفر باشد از نظر فنی کارا است $(D_T(x^0,y^0;g_x,g_y)=0)$.

با توجه به مطالب ذکرشده مسئله‌ی بهینه‌سازی متناظر با تابع DDF مورد استفاده جهت ارزیابی کارایی فنی مزرعه صفر را در جهت بردار (g_x,g_y) و با تکنولوژی بازدهی متغیر نسبت به مقیاس[3] می‌توان به‌صورت الگوی (۶) نوشت:

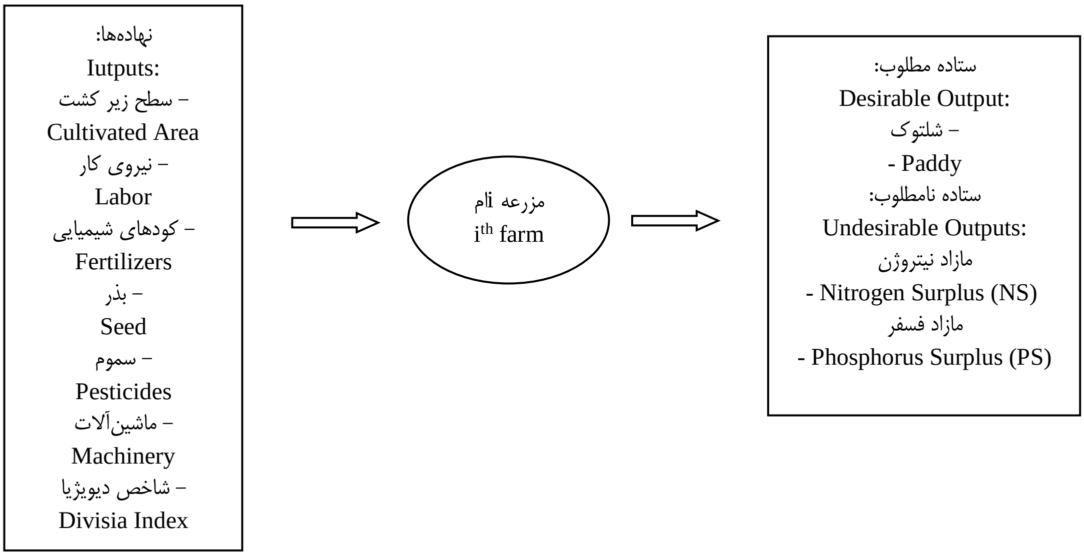
$$\begin{aligned} & D_T(x^0,y^0;g_x,g_y)=\max_{\beta^0,\lambda^i}\ \beta^0 \\ & s.to:\ x_k^0-\beta^0 g_x\ge\sum_{i=1}^n\lambda^i x_k^i\,,\quad k=1,...,k \\ & y_m^0+\beta^0 g_y\le\sum_{i=1}^n\lambda^i y_m^i\,,\quad m=1,...,m \qquad (۶) \\ & \sum_{i=1}^n\lambda^i=1 \\ & \lambda\ge 0 \end{aligned}$$

β^0 ناکارایی فنی مزرعه مورد نظر و D_T تابع فاصله را نشان می‌دهد. n تعداد مزارع مورد بررسی و λ^i برداری غیرمنفی با ابعاد $n\times1$ است که بیانگر وزن‌های مجموعه مرجع[4] برای یک مزرعه ناکارا می‌باشد. اگر قید $\sum_{j=1}^n\lambda_j=1$ از الگوی (۶) حذف شود، فرض CRS[5] برقرار خواد بود. نتایج مقادیر کارایی فنی به‌دست‌آمده از مدل DDF با فرض CRS به‌عنوان معیاری از کارایی فنی کل (OTE)[6] و نتایج مقادیر کارایی فنی به‌دست‌آمده از مدل DDF با فرض VRS به‌عنوان معیار کارایی فنی خالص (PTE)[7] شناخته می‌شود. تفاوت بین ناکارایی فنی تحت فروض CRS و VRS ناشی از ناکارایی مقیاس است. مقدار کارایی مقیاس (SE)[8]، بین صفر و یک بوده و نشان می‌دهد که آیا یک مزرعه نزدیک به مقیاس بهینه عمل می‌کند یا خیر. اگر نمره SE یک مزرعه برابر با یک باشد آن مزرعه در وضعیت CRS فعالیت می‌کند و زمانی که SE کوچکتر از یک شود مزرعه تحت شرایط VRS فعالیت می‌کند (۲۵).

در محاسبه کارایی محیط زیستی در مطالعه حاضر فرض شده که ستاده نامطلوب همراه با ستاده مطلوب تولید می‌شود و به معنی حداکثر تولید ستاده مطلوب همراه با کاهش ستاده نامطلوب است. بنابراین تابع فاصله جهت‌دار ستاده‌گرا به شکل زیر می‌باشد (۸):

1- Directional Output Distance Function
2- Divisia Index

3- Variable Returns to Scale
4- Reference set
5- Constant Returns to Scale
6- Overall technical efficiency
7- pure technical efficiency
8- Scale Efficiency



شکل ۱- مدل به‌کاررفته جهت اندازه‌گیری کارایی محیطزیستی

Figure 1- Model used to measure environmental efficiency

$$D_T(x,y,b,g_x,g_b)=\max_{\beta}\{\beta:(y,b)+(\beta g_y,\beta g_b)\in T\},\quad x\in R_+^k,\ y\in R_+^m \qquad (۷)$$

در اینجا بردار جهت به صورت $g=(g_y,-g_b)$ خواهد بود. بنابراین الگوی برنامه‌ریزی خطی متناظر با تابع DDF ستاده‌گرا جهت برآورد کارایی محیط زیستی با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس و قابلیت حذف ضعیف نیز به صورت رابطه (۸) می‌باشد:

$$\begin{aligned}
D_T(x^0,y^0;b_0,g_y) &= \max_{\beta^0,\lambda^i} \quad \beta^0 \\
s.to:\ x_k^0 &\geq \sum_{i=1}^{n}\lambda^i x_k^i\ , \qquad k=1,\dots,k \\
y_m^0+\beta^0 g_y &\leq \sum_{i=1}^{n}\lambda^i y_m^i\ , \qquad m=1,\dots,m \\
b_s^0-\beta^0 g_b &= \sum_{i=1}^{n}\lambda^i b_s^i\ , \qquad s=1,\dots,s \\
\sum_{i=1}^{n}\lambda^i &= 1 \\
\lambda &\geq 0
\end{aligned} \qquad (۸)$$

β^0 ناکارایی محیطزیستی مزرعه مورد نظر را نشان می‌دهد. قابلیت حذف ضعیف[1] بدان معنی است که ستاده‌ی مطلوب و ستاده‌ی نامطلوب هر دو می‌توانند کاهش یابند ولی کاهش ستاده‌ی نامطلوب با هزینه همراه خواهد بود.

1- Weak Disposability

مدل به‌کاررفته و نهاده‌ها و ستاده‌های مدل جهت اندازه‌گیری کارایی محیطزیستی شالیکاران در شکل ۱ نشان داده شده است:

جامعه‌ی آماری مورد مطالعه در این تحقیق، شالیکاران استان گیلان بوده و نمونه‌گیری بر اساس روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تصادفی صورت گرفته است. به این منظور، شهرستان‌هایی که سطح زیرکشت بالاتری در استان داشتند شامل شهرستان‌های آستانه اشرفیه، لاهیجان، رودسر، لنگرود، شفت، صومعه‌سرا، فومن، رضوانشهر، تالش و رشت جهت نمونه‌گیری انتخاب شدند که این شهرستان‌ها در مجموع بیش از ۹۰ درصد سطح زیرکشت برنج استان را به‌خود اختصاص داده‌اند. سپس بر اساس سهم تعداد بهره‌بردار در هر شهرستان، تعداد نمونه در آن شهرستان انتخاب گردید. داده‌های مورد نیاز در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با شالیکاران در این استان جمع‌آوری شده است. تعداد کل شالیکاران استان گیلان برابر با ۱۹۰۱۰۴ نفر می‌باشد (۱۷) و بر اساس فرمول کوکران حجم نمونه در این مطالعه ۳۸۳ مزرعه تعیین شد و برای اطمینان بیشتر تعداد ۴۲۷ پرسشنامه تکمیل گردید. آمار مربوط به تعداد بهره‌بردار و تعداد پرسشنامه در هر شهرستان در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج و بحث

نهاده‌ها و ستاده‌های مطلوب و نامطلوب مورد استفاده در مطالعه حاضر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- تعداد بهره‌بردار و تعداد پرسشنامه در هر شهرستان

Table 1- The number of farmers and questionnaires in each county

شهرستان Counties	آستانه اشرفیه Astaneh-ye Ashrafiyeh	تالش Talesh	رشت Rasht	رضوانشهر Rezvanshahr	رودسر Rudsar	شفت shaft	صومعه‌سرا Someh Sara	فومن Fuman	لاهیجان Lahijan	لنگرود Langarud
تعداد بهره‌بردار Number of farmers	15572	14825	38763	8475	11944	9649	20009	12180	24484	12782
تعداد پرسشنامه Number of questionnaire	39	38	98	22	30	24	51	31	62	32

جدول ۲- آماره‌های توصیفی شالیکاران استان گیلان

Table 2- Descriptive statistics of rice growers in Guilan province

متغیر Variable	واحد اندازه‌گیری Measurement unit	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار Sd
سطح زیر کشت Cultivated area	هکتار ha	0.89	10	0.05	1.25
کود شیمیایی Fertilizer	کیلوگرم Kg	264.45	3500	15	344.07
سموم Pesticides	لیتر L	12.67	125	0.25	19.14
بذر Seed	کیلوگرم Kg	78.57	600	10	74.44
ماشین‌آلات Machinery	ساعت h	30.12	400	2	46.25
نیروی کار Labor	نفر- روز Person-Day	38.54	288	6	40.66
شاخص دیویژیا Divisia index	تومان Toman	349329.8	8000000	5	834919
شلتوک Paddy	کیلوگرم Kg	2249.84	36000	30	2799.08
مازاد نیتروژن Supply nitrogen	کیلوگرم Kg	44.63	593.2	0.025	71.97
مازاد فسفر Supply phosphorus	کیلوگرم Kg	14.31	228.68	0.086	21.51

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

اگرچه در مطالعه‌ی حاضر اطلاعات کامل در مورد جریانات ورودی و خروجی نیتروژن و فسفر از قبیل N و P حاصل از تثبیت بیولوژیکی، رسوب جو، بارش و آبیاری و خاک به‌عنوان ورودی نیتروژن و فسفر و N و P باقیمانده در ساقه برنج و خاک به‌عنوان خروجی این مواد به‌دلیل وقت‌گیر و هزینه‌بربودن آن در نظر گرفته نشده و فقط میزان نیتروژن و فسفر موجود در کودها، بذر مصرفی و محصول برنج لحاظ شده است باز هم در سیستم کشت برنج مازاد نیتروژن و مازاد فسفر وجود دارد. به‌طوری که مقدار NS و PS وارد شده به محیط‌زیست احتمالاً بالاتر از NS و PS محاسبه‌شده در این مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج، مازاد نیتروژن و فسفر در مزارع برنج استان گیلان به‌ترتیب برابر با ۴۴/۶۳ و ۱۴/۳۱ کیلوگرم در هکتار است. میزان مازاد نیتروژن در مزارع برنج استان گیلان تقریباً سه برابر مازاد فسفر در این مزارع است این امر نشان می‌دهد که شالیکاران مورد مطالعه در مصرف کودهای حاوی نیتروژن به‌مراتب نابهینه‌تر عمل می‌کنند. به‌نظر می‌رسد شالیکاران با مصرف بیشتر کودهای نیتروژنه می‌کوشند تا ریسک کاهش عملکرد را تقلیل دهند.

جدول ۳- نتایج کارایی فنی شالیکاران در بازده‌های مختلف
Table 3- The results of the technical efficiency of farmers in different return to scale

کارایی Efficiency	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	انحراف معیار Sd
کارایی فنی در حالت CRS Technical efficiency in CRS	0.59	1	0.06	0.31
کارایی فنی در حالت VRS Technical efficiency in VRS	0.69	1	0.16	0.27
کارایی مقیاس Scale efficiency	0.82	1	0.09	0.24

مأخذ: یافته‌های پژوهش
Source: Research findings

جهت محاسبه کارایی در مطالعه حاضر ابتدا داده‌های پرت با استفاده از روش ابر داده[1] شناسایی و از نمونه حذف شدند (۸ مزرعه). سپس مزارع با NS و PS صفر و یا منفی نیز از مطالعه حذف شده و تخمین بر روی مزارع باقیمانده انجام شد.

کارایی فنی شالیکاران استان گیلان با استفاده از نرم‌افزار R[2] محاسبه شده و نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج، میانگین کارایی فنی شالیکاران در استان گیلان تحت فرض بازده‌ی ثابت و متغیر به مقیاس به‌ترتیب برابر با ۵۹ و ۶۹ درصد است. بنابراین، در شالیزارهای مورد بررسی امکان ارتقای میزان کارایی وجود دارد. به‌عبارت دیگر، می‌توان با توجه به سطح نهاده‌ی مصرفی و با افزایش محصول تولیدی، کارایی فنی مزارع را تحت فروض CRS و VRS به‌ترتیب به‌میزان ۴۱ و ۳۱ درصد بهبود بخشید.

میزان مازاد نیتروژن و مازاد فسفر با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه شد و سپس به‌عنوان محصول نامطلوب جهت محاسبه کارایی محیط‌زیستی وارد مدل گردید که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به جدول (۴)، میانگین فاصله‌ی مزارع تا مرز کارا بزرگتر از صفر به‌دست آمد (۱/۷۶) و این امر حاکی از آن است که مزارع شالیکاری استان به‌طور میانگین از مرز کارایی محیط‌زیستی فاصله داشته و کارا عمل نمی‌کنند. همچنین، بر اساس نتایج حداقل فاصله مزارع از مرز کارایی محیط‌زیستی برابر صفر بوده که نشان‌دهنده کارا عمل‌کردن واحدهای مورد نظر از لحاظ محیط‌زیستی است. بر اساس نتایج این جدول، حداقل و حداکثر کارایی محیط‌زیستی شالیکاران گیلانی به‌ترتیب برابر با ۷ و ۱۰۰ درصد بوده است. بنابراین، در بین کشاورزان مورد مطالعه از لحاظ کارایی محیط‌زیستی شکاف زیادی وجود دارد که این امر ناشی از کم‌توجهی شالیکاران به مسائل محیط‌زیستی و استفاده نابهینه از نهاده‌ها می‌باشد. میانگین کارایی محیط‌زیستی شالیکاران نیز ۵۲ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده سطح پایین کارایی محیط‌زیستی در این مزارع است. بر همین اساس و با توجه به معیار کارایی مازاد مواد مغذی جهت‌دار شالیکاران می‌توانند علاوه بر کاهش آلودگی محیط‌زیستی میزان تولید برنج خود را نیز افزایش دهند.

نتایج بررسی شرط تعادل مواد در مزارع برنج استان گیلان حاکی از وجود مازاد نیتروژن و فسفر در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که این نتیجه با نتایج مطالعات عبدی رکنی و همکاران (۱) در منطقه گهرباران ساری، مولایی و همکاران (۱۹) در شهرستان بابلسر و کرباسی و همکاران (۱۳) در استان مازندران هم‌سو می‌باشد.

در جدول ۵ میزان کارایی شالیکاران با درنظرگرفتن پیامدهای محیط‌زیستی و بدون آن و نیز تعداد واحدهای کارا و ناکارا نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول شالیکاران استان گیلان در سطح پایین کارایی فنی و محیط‌زیستی عمل می‌کنند و کارایی محیط‌زیستی آن‌ها به‌مراتب پایین‌تر از کارایی فنی می‌باشد. به عبارت دیگر، لحاظ‌نکردن مازاد مواد مغذی در محاسبات کارایی شالیکاران باعث شده است که میزان کارایی به‌اندازه ۰/۱۷ بیشتر از مقدار واقعی نشان داده شود. این امر بیان‌گر آن است که شرایط محیط‌زیستی بر میزان کارایی اثرگذار است. نتایج نشان داد تقریباً ۸۲ درصد از این کشاورزان از لحاظ فنی و ۸۵ درصد از نظر محیط‌زیستی ناکارا هستند. همچنین، بر اساس نتایج ۶۴/۴ درصد از شالیکاران از نظر فنی و ۵۹ درصد از آن‌ها از نظر محیط‌زیستی کارایی بالای ۵۰ درصد داشتند.

جهت مقایسه کارایی فنی و محیط‌زیستی شالیکاران از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. این آزمون جهت بررسی نرمال‌بودن توزیع مقادیر کارایی استفاده می‌شود و یکی از مهم‌ترین آزمون‌های آماری در انتخاب آزمون‌های پارامتریک یا ناپارامتریک به‌شمار می‌رود. اگر نتیجه این آزمون معنی‌دار شود توزیع نرمال نبوده و باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده نمود.

1- Data Cloud method
2- package “Benchmarking”

جدول ٤- نتایج تابع فاصله و کارایی محیطزیستی
Table 4- Results of distance function and environmental efficiency

	کارایی محیط زیستی Environmental efficiency	تابع فاصله Distance function
میانگین Mean	0.52	1.76
حداکثر Max	1	12.51
حداقل Min	0.07	0
انحراف معیار Sd	0.27	2.14

مأخذ: یافته‌های پژوهش
Source: Research findings

جدول ٥- بازه و میانگین کارایی فنی و محیطزیستی شالیکاران و تعداد واحدهای کارا و ناکارا
Table 5- Average and interval of technical and environmental efficiency of rice farmers and number of efficient and inefficient units

کارایی Efficiency	(۰-۰/۲۵) (0- 0.25)	(۰/۲۵-۰/۵۰) (0.25- 0.50)	(۰/۵۰-۰/۷۵) (0.50- 0.75)	(۰/۷۵-۱) (0.75- 1)	میانگین Mean	تعداد واحدهای کارا Number of efficient units	تعداد واحدهای ناکارا Number of inefficient units
کارایی فنی Technical efficiency	24 (8.6%)	75 (27.0%)	102 (36.7%)	77 (27.7%)	0.69	49 (17.6%)	229 (82.4%)
کارایی محیط زیستی Environmental efficiency	41 (14.7%)	73 (26.3%)	93 (33.5%)	71 (25.5%)	0.52	42 (15.1%)	236 (84.9%)

مأخذ: یافته‌های پژوهش
Source: Research findings

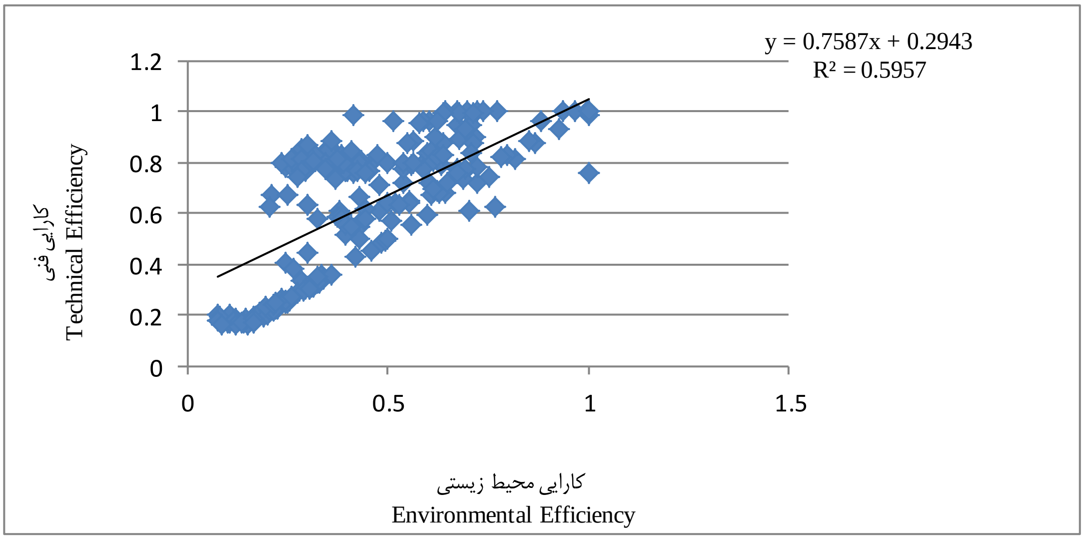
نتیجه این آزمون در مطالعه‌ی حاضر حاکی از غیرنرمال‌بودن توزیع کارایی بوده و به‌همین دلیل از آزمون ناپارامتریک یو من ویتنی[1] استفاده شد. مقدار آماره برابر با ۴۲/۷۵ به‌دست آمد که در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بر اساس نتیجه این آزمون، می‌توان گفت که اختلاف معنی‌دار بین متوسط کارایی فنی و کارایی محیطزیستی وجود دارد. در ادامه جهت بررسی همبستگی بین کارایی فنی و کارایی محیطزیستی نیز از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن استفاده شدکه مقدار این ضریب ۰/۷۷۲ به‌دست آمد. این ضریب همبستگی نشان داد که بین این دو نوع کارایی رابطه همبستگی مثبت وجود دارد، یعنی واحدهایی که کارایی فنی بالایی دارند از نظر محیطزیستی نیز کارا عمل کرده و از کارایی محیطزیستی بالایی نیز برخوردار هستند. در شکل ۲ رابطه بین کارایی فنی و محیطزیستی نشان داده شده است.

با توجه به اینکه استان گیلان رتبه‌ی دوم تولید برنج در کشور را داراست، درک اینکه تولید این محصول در استان از نظر فنی و محیطزیستی کارا باشد، گام مهمی است که به مسؤلین استان توانایی طراحی و اجرای سیاست‌ها را در جهت بهبود کارایی مازاد مواد مغذی می‌دهد. این امر می‌تواند تأثیرات منفی تولید برنج بر محیطزیست و سلامت کشاورزان و مصرف‌کنندگان برنج را کاهش دهد.

بر اساس نتایج، اختلاف معنی‌داری بین متوسط کارایی فنی و کارایی محیطزیستی وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر، لحاظ‌نکردن محصول بد در برآورد کارایی فنی باعث می‌شود کارایی فنی بیش از مقدار واقعی به‌دست آید که ممکن است منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست گردد. با این وجود، مثبت‌بودن رابطه‌ی همبستگی بین کارایی فنی و محیطزیستی در مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد واحدهایی که کارایی فنی بالایی دارند از کارایی محیطزیستی بالایی نیز برخوردار هستند. همچنین، نتایج مطالعه نشان داد بین مزارع شالیکاری استان گیلان از لحاظ کارایی محیطزیستی شکاف زیادی وجود دارد که این امر ناشی از کم‌توجهی شالیکاران به مسائل محیطزیستی و استفاده نابهینه از نهاده‌ها است. همچنین بر اساس نتایج، مازاد نیتروژن و فسفر در

1- Mann-Whitney U

مزارع برنج استان گیلان به‌ترتیب برابر با ۴۴/۶۳ و ۱۴/۳۱ کیلوگرم در هکتار است که وجود این مقدار مازاد مواد مغذی نیز تأییدی بر مصرف بیش از حد بهینه کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای حاوی نیتروژن است. از دلایل مصرف غیربهینه کودها و بی‌توجهی کشاورزان به عوارض کودهای شیمیایی این است که اکثر کشاورزان در این مناطق بر اساس تجارب گذشتگان به کشت برنج پرداخته و بیشتر به جنبه‌ی اقتصادی تولید اهمیت می‌دهند و اثرات جانبی روش‌های افزایش تولید را در نظر نمی‌گیرند. از دیگر دلایل مصرف نامتعادل کودهای شیمیائی و عدم استفاده بهینه از آن‌ها رایج‌نبودن آزمایش خاک بوده که نقش اساسی در به‌هم‌خوردن تعادل عناصر غذایی و کاهش جذب عناصر ریزمغذی دارد و این امر حاکی از آن است که نظارت جدی از سوی سازمان جهاد کشاورزی بر مزارع صورت نمی‌گیرد و شالیکاران اطلاعاتی مبنی بر برنامه‌ریزی تغذیه بر اساس نتایج آزمایش خاک ندارند.



شکل ۲- رابطه بین کارایی فنی و محیطزیستی

Figure 2- Relationship between technical and environmental efficiency

فقدان امکانات و بازار مناسب جهت تشخیص و عرضه محصولات سالم و عدم وجود سیاست‌های کشاورزی مناسب در این زمینه نیز مانع بزرگی جهت تولید محصولات سالم است که در نهایت موجب استمرار به‌کارگیری روش تولید متعارف و مصرف نابهینه سموم و کودهای شیمیایی می‌شود. بنابراین، انجام اقدامات مؤثر در این زمینه نیازمند همکاری همه‌جانبه‌ی دولت و سازمان‌های مربوطه می‌باشد. موظف‌کردن کارشناسان سازمان‌های مربوطه بر نظارت و کنترل میزان کودهای مصرفی در مزارع، فرهنگ‌سازی خرید و مصرف محصولات سالم و تشکیل کلاس‌های توجیهی و آشنانمودن کشاورزان با خطرات مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر رعایت اخلاق کشاورزی و به‌کارگیری اصول علمی شالیکاران داشته باشد.

در مطالعه حاضر آلودگی ناشی از مازاد مواد مغذی به‌عنوان ستاده‌ی نامطلوب در محاسبه کارایی لحاظ شده است اما انتشار گاز متان و دی اکسید کربن نیز دو آلاینده مهم در شالیزارها محسوب می‌شوند که لحاظ کردن آن‌ها به‌عنوان ستاده‌ی نامطلوب می‌تواند تحلیل‌های دقیق‌تری از کارایی محیطزیستی ارائه دهد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، انتشار گاز متان و دی‌اکسید کربن نیز به‌عنوان ستاده‌ی نامطلوب در تحلیل کارایی محیطزیستی لحاظ گردد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی عوامل مختلف اقتصادی-اجتماعی نیز مورد تحلیل قرار گیرد چرا که این داده‌ها به محققان امکان می‌دهد تا عوامل مؤثر بر ناکارایی فنی و محیطزیستی سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی را نیز بررسی نمایند.

منابع

1- Abdi Rokni Kh., Hosseini Yekani S.A., Abedi S., and Kashiri F. 2018. Management of Chemical Fertilizers Consumption for Rice Production: A Case Study: Gohar baran of Sari. Agricultural Economics and Development 26: 29-53. (In Persian with English abstract)

2- Bagheri Kh., and Esfanjari R. 2019. Determination of technical efficiency of farmers in rice production (Case

study: Tarom Hashemi cultivar in Rasht city). 6th International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences. January 24-25, 2019.
3- Ball V.E., Lovell C.A.K., Luu H., and Nehring R. 2004. Incorporating environmental impacts in the measurement of agricultural productivity growth. Agricultural and Resource Economics 29: 436-460.
4- Banker R.D., Charnes A., and Cooper W.W. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science 30:1078-1092.
5- Chambers R.G., Chung Y., and Fare R. 1996. Benefit and distance functions. Economic Theory 70: 407-419.
6- Charnes A., Cooper W.W., and Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operation Research 2: 429-444.
7- Coelli T., Lauwers L., and Huylenbroeck G.V. 2007. Environmental Efficiency Measurement and the Materials Balance Condition. Productivity Analysis 28:3-12.
8- Falavigna G., Manello A., and Pavone S. 2013. Environmental efficiency, productivity and public funds: the case of the Italian agricultural industry. Agricultural Systems 121: 73-80.
9- FAO's Director-General on How to Feed the World in 2050. 2009. Population and Development Review 35: 837–839.
10- Färe R., Grosskopf S., Noh D., and Weber W. 2005. Characteristics of a Pollution Technology: Theory and Practice. Econometrics 126: 469–492.
11- Färe R., Filho C.M., Vardanyan M. 2009. On functional form representation of multi-output production technologies. Productivity Analysis 33: 81-96.
12- Farrell M.J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. Royal Statistical Society 120: 253-290.
13- Karbasi A., Fakari Sardehaee B., Kojouri Geshniyani M., and Rezaei Z. 2012. Analysis of soil nutrient management for rice production in Mazandaran. Annals of Biological Research 3:2881-2887.
14- Kohsari M.R. 2004. A Study on Lifestyle Habits and Gastric Cancer in Guilan Province. Guilan University of Medical Sciences 13: 10-19. (In Persian with English abstract)
15- Li N., Xiao X., Cao G., and He B. 2017. Agricultural eco-environment efficiency and shadow price measurement in Three Gorges Reservoir area under non-point source pollution constraints. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 33: 203-210.
16- Malakouti M.J. 2010. The Relationship between Optimal Fertilizer Consumption and Healthy Agricultural Production. Crop Ecophysiology 4: 133-150. (In Persian with English abstract)
17- Ministry of Agriculture Jihad of Guilan. 2018. Agricultural Jihad Statistics, Available at https://www.jkgc.ir.
18- Molaee M., and Sani F. 2015. Estimating Environmental Efficiency of the Agricultural Sector. Agricultural science and Sustainable Production 25: 91-101. (In Persian with English abstract)
19- Molaee M., Hesari N., and Javan bakht A. 2017. Estimation of Input-driven environmental efficiency of Crops (Case Study: Environmental Efficiency of Rice Production). Agricultural Economics 11: 157-172. (In Persian)
20- Parsa P., Jalai Esfandabadi A., and Sadeghi Z. 2016. Analysis of Environmental Technical Efficiency in the Provinces of Iranian. Environmental and Natural Resources Economics 1: 81-103. (In Persian with English abstract)
21- Pishgar Komleh S.H., Zylowski T., Rozakis S., and Kozyra J. 2020. Efficiency under different methods for incorporating undesirable outputs in an LCA+DEA framework: A case study of winter wheat production in Poland. Environmental Management 260: 110-138.
22- Pittman R.W. 1983. Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. Economic 93: 883–891.
23- Rice Research Institute of Iran. 2018.
24- Sadeghi Z., Golestani Sh., and Pourbaferani A. 2013. Investigating the Effects of Energy Price on Changes in Industrial Technologies of Iran and Environmental Impact Assessment. Applied Economic Studies in Iran 2: 168-145.
25- Saelee W. 2017. Environmental Efficiency Analysis of Thai Rice Farming. PhD Thesis, university of reading, School of Agriculture, Policy and Development.
26- Seifi A., Salimifar M., Fonoudi E. 2013. Measuring environmental efficiency: A Case Study of Power Generation Thermal Powerhouse in South, Razavi and North Khorasan Provinces. Energy and Environment Economics 2: 41-17.
27- Shahiki Tash M., Khajeh Hassani M., and Jafari S. 2015. Calculating Environmental Efficiency in Energy Industries of Iran Using Directional Distance Function Approach. Applied Theories of Economics 2: 99-120. (In Persian)
28- Tilman D., Balzer C., Hill J., and Befort B.D. 2011. Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) 108: 20260–20264.
29- Tsujimot Y., Rakotoson T., Tanaka A., and Saito K. 2019. Challenges and opportunities for improving N use efficiency for rice production in sub-Saharan Africa. Plant Production Science 22(4): 413–427.
30- Yaqubi M., Shahraki J., and Sabouhi Sabouni M. 2016. On dealing with the pollution costs in agriculture: A case

study of paddy fields. Science of the Total Environment 556: 310-318.
31- Yu-Ying L., Eugene Ch., Ping-Yu Ch., and Chi-Chung M. 2013. Measuring the environmental efficiency of countries: A directional distance function metafrontier approach Environmental Management 119: 134-142.
32- Zofio J.L., Pastor J.T., and Aparicio J. 2013. The Directional Profit Efficiency Measure: on Why Profit Inefficiency is either Technical or Allocative. Productivity Analysis 40: 257–266.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 1, Spring 2020, p. 15-27

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۲۷-۱۵

Environmental Efficiency Analysis of Rice Farms in Guilan Province with Emphasis on Material Balance Condition

S.S. Ahmadzadeh[1]- H. Amirnejad[2]*- S.A. Hosseini-Yekani[3]

Received: 12-10-2019
Accepted: 24-03-2020

Introduction: The overuse of fertilizers in recent years has led to the production of harmful agricultural products and environmental pollution. Studying the environmental efficiency of agricultural activities and transferring the results of these studies to farmers and making practical use of them is one of the important strategies that can have a significant impact on the production of healthy products with less negative impacts on the environment. The main objective of this research is to measure the technical and environmental efficiency of rice farms in Guilan province. Previous studies in agriculture sector considered pesticides and fertilizers as undesirable inputs in the environmental model but considering undesirable outputs as inputs leads to an unbounded PPS, which is not rational from an economic perspective. So in this study, the nutrient surplus (nitrogen and phosphorus surplus) from rice fields, caused by overuse of chemical fertilizer, was considered as an undesirable product in the environmental model.

Materials and Methods: The presence of outliers in the dataset may bias efficiency estimates: this could make the results meaningless and misleading. The data cloud method is useful in identifying and removing outliers in the data, thus leading to more accurate efficiency estimates. Therefore, at first, farms that were identified as outliers were deleted from the sample. Then the nitrogen and phosphorus surplus were calculated by material balance condition and farms with negative or zero NS and PS were removed from sample, then the remaining farms were used to estimate the technical and environmental efficiency. To determine efficiency, the directional output distance function method was used. In this method, it is assumed that undesirable output is produced along with the desirable output and that means maximizing optimum output while reducing undesired output. The required data were collected by questionnaires from 427 Rice farmers.

Results and Discussion: The results indicated that the amount of nitrogen and phosphorus surplus in rice farms of Guilan province were 44.63 and 14.31 kg/ha, respectively. Therefore, if rice farmers continue to use current levels of nitrogen and phosphorus fertilizers, environmental problems caused by NS and PS would increase.

The average technical efficiency of farmers in constant and variable returns to scale is 59 and 69 percent, respectively. So, it is possible to improve the efficiency of rice farms. In other words, the technical efficiency of farms under assumption of CRS and VRS can be improved 41% and 31%, respectively, through increasing output. The average environmental efficiency was 52%, it indicates that environmental efficiency is low. So according to the directional nutrients efficiency measure, rice farmers can increase their rice production and reduce environmental pollution simultaneously.

Based on the results, environmental efficiency of farmers is lower than technical efficiency and there is a significant difference between the average efficiency with regard to nutrient surplus and without it, so if the nutrient is not considered in the model the efficiency score is estimated more than the actual value by 17%. The results also showed that almost 82% of these rice farmers are technically inefficient and 85% are environmentally inefficient. Spearman correlation coefficient between technical and environmental efficiency was 0.772. This indicated there is a positive relationship between these two kinds of efficiency and units with high technical efficiency also have high environmental efficiency.

Conclusion: One of the reasons for over usage of fertilizers and neglecting chemical fertilizer damages by farmers is that most farmers cultivate rice based on past experiences and they are more concerned with the economic aspect of production and not considering the external effects of increasing production methods. Lack of facilities and appropriate market for introducing and supplying healthy crops and the absence of appropriate agricultural policies are major obstacles to producing healthy crops that leads to continued usage of conventional production methods and the inadequate consumption of pesticides and fertilizers. So controlling fertilizer usage

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Associate Professors of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hamidamirnejad@yahoo.com)

in farms, encouraging the consumption of healthy products, establishing training classes for farmers and raising their awareness about dangers of overuse of chemical fertilizers are essential for improving the environmental efficiency of Rice farmers in Guilan province.

Keywords: Directional distance function, Environmental efficiency, Nitrogen surplus, Phosphorus surplus